

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PŘÍMÝ VSTŘÍK BENZÍNU

PETROL DIRECT INJECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ MORAVEC

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. RADIM DUNDÁLEK, PH.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Moravec

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Přímý vstřík benzínu

v anglickém jazyce:

Petrol Direct Injection

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Zamyšlení nad perspektivou budoucího vývoje benzínových motorů spalující chudé směsi paliva se vzduchem.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení přehledu komponentů systému, popis jejich funkce. Výhody a nevýhody s ohledem na plnění emisních limitů. Specifické součásti výfukového systému. Přehled pohonných jednotek s přímým vstříkem benzínu.

Seznam odborné literatury:

- [1] Internal combustion engine, [online]. Dostupné z:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_combustion_engine>
[2] Broža P. , Litzman M. , TÉMA:Přímý vstřík benzínu, [online]. Dostupné z:
<<http://www.autorevue.cz/default.aspx?article=5594>>
[3] Dittrich L.,TÉMA: Přímý vstřík paliva - benzín vrací úder, [online].
Dostupné z: <<http://www.zavolantem.cz/clanky/primy-vstrik-paliva-benzin-vraci-uder>>
[4] GDI Fuel System, [online]. Dostupné z:
<www.hptuners.com/forum/showthread.php?p=153715>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 25.11.2013

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá přímým vstřikováním benzínu u osobních automobilů. V první kapitole se dozvíme o historii přímého vstřikování benzínu a vývoji jednotlivých automobilových koncepcí. Dále se zaměříme na vznik směsí paliva se vzduchem a podrobněji rozebereme celý vstřikovací systém. Obsahem mé práce je také seznam vybraných motorů využívajících přímého vstřikování benzínu. Poslední kapitola je zaměřena především na budoucí vývoj přímého vstřikování benzínu u vznětových motorů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přímý vstřik benzínu, zážehový motor, vznětový motor, palivový systém, výfukový systém, řídicí systém.

ABSTRACT

This bachelor thesis is about the system of direct injection petrol engines within cars. The first chapter is designated to the history of the direct injection petrol system and the development of different concepts. The thesis then concentrates on the mixing of air with fuel and describes the injection system in detail. Within the content of my work is a list of specific engines, using the direct injection system. The last chapter is devoted to the future development of direct injection petrol system and those with the compression-ignition system.

KEYWORDS

Petrol direct injection, compression-ignition engine, spark-ignition engine, fuel system, exhaust stroke system, control system.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MORAVEC, T. *Přímý vstřík benzínu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 45 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 16. května 2014

.....

Jméno a přímení



PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za trpělivost, podporu a cenné rady, které mi byly velmi užitečné k sepsání této bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	9
1 Historie	10
2 Princip funkce přímého vstřikování	12
2.1 Tvorba směsi	12
2.1.1 Součinitel přebytku vzduchu	12
2.1.2 Tvorba vrstvené směsi	13
2.1.3 Tvorba homogenní a bohaté směsi	16
2.2 Druhy provozu	16
2.3 Popis jednotlivých částí systému	19
2.3.1 Elektronický systém řízení	20
2.3.2 Palivový systém	20
2.3.3 Výfukový systém	26
3 Vybrané koncepty automobilových společností	31
3.1 Koncern Volkswagen, Motory FSI, TSI	31
3.1.1 Motory FSI (Fuel Stratified Injection)	31
3.1.2 Motory TSI (Twincharge Stratified Injection)	31
3.2 Renault, Energy TCE	33
4 Motory využívající přímé vstřikování benzínu	35
5 Budoucnost přímého vstřikování benzínu	39
5.1 Využití přímého vstřikování benzínu u vznětových motorů	39
5.2 Filtry pevných částic	41
Závěr	42
Použité informační zdroje	43
Seznam použitých zkratk a symbolů	45



ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou přímého vstřikování benzínu u osobních automobilů. První kapitola je zaměřena na historii přímého vstřikování benzínu a na seznámení s názvy konceptů jednotlivých automobilových společností. Následná část popisuje způsoby vzniku vrstvených a homogenních směsí ve spalovacím prostoru, druhy provozů a popis vstřikovacího systému. Další částí mé práce je stručné seznámení s nejmodernějšími motory vybraných automobilových společností a seznam vybraných motorů využívajících přímého vstřikování benzínu. Poslední kapitola je především zaměřena na využití přímého vstřikování benzínu u vznětových motorů, které svými přednostmi mohou být v budoucí době konkurencí dieslovým motorům.

Vstřikovací systémy benzínu (přímé či nepřímé) se u automobilů používají především z důvodu nižší spotřeby paliva. Na rozdíl od motorů s karburátory je u vstřikovacích systémů dávkování paliva řízené, tudíž lze do spalovacího prostoru dodat pouze jeho potřebné množství (především u systémů s přímým vstřikováním). Nevýhodou přímého vstřikování je vznik nebezpečných NO_x , které vznikají při hoření chudé směsi, proto je zapotřebí vybavit výfukový systém absorpčním katalyzátorem. [4]

Z důvodu ochrany životního prostředí byly v roce 1992 zavedeny Evropskou unií přísné emisní normy pod názvem Euro, které jsou pro automobilové společnosti závazné. Tyto normy se postupem času mění (zpřísňují). Vývoj norem Euro je popsán v následující tabulce. [4] [23]

Tab. 1 Přehled limitů jednotlivých evropských norem [23]

Norma	Rok	CO [g/km]	NO _x [g/km]	HC+NO _x [g/km]	HC [g/km]
I	1992	3,16	-	1,13	-
II	1996	2,20	-	0,50	-
III	2000	2,30	0,15	-	0,20
IV	2005	1,00	0,08	-	0,10
V	2009	1,00	0,06	-	0,10
VI	2014	1,00	0,06	-	0,10



1 HISTORIE

První pokusy zavádění přímého vstřikování benzínu se uskutečnily již v 30. letech 20. století u motoru kombinujícího spalování nafty a benzínu. Konstruktorem motoru byl Švédský inženýr Jonas Hesselman. Roku 1937 se přímého vstřikování benzínu využívalo u výkonných leteckých motorů značek Junkers Jumo 210 a Daimler-Benz DB 601. V automobilovém průmyslu se přímé vstřikování benzínu objevilo až v 50. letech minulého století u německých automobilů Gutbrod Superior 600 a Goliath 700 GP. Jednalo se o dvoudobé motory, které sice měly výhodu v nižší spotřebě, ale jejich výroba byla velice náročná a také velmi drahá. Roku 1954 bylo přímé vstřikování benzínu zavedeno u slavného sportovního vozu Mercedes-Benz 300 SL. [5]



Obr. 1 Mercedes- Benz 300 SL [11]

Přelomovým rokem se považuje rok 1996, kdy byl vyvinut první systém přímého vstřikování benzínu pro osobní zážehové motory s názvem GDI (Gasoline Direct Injection) a přišla s ním firma Mitsubishi. Následný vývoj je popsán v níže uvedené tabulce. [5] [6]

Tab. 2 Seznam vzniku jednotlivých vstřikovacích systému [5]

Rok vzniku	Název systému	Automobilová společnost	První automobily
1996	GDI (Gasoline Direct Injection)	Mitsubishi	Galent, Carisma
1997	GDI (Gasoline Direct Injection)	Nissan	Leopard
1998	D4	Toyota	Avensis, Lexus GS 300
1999	IDE (Injection Directe Essence)	Renault	Megane
2000	FSI (Fuel Stratified Injection)	Volkswagen	Lupo
2002	JTS (Jet Thrust Stoichiometric)	Alfa Romeo	Alfa Romeo 156
2003	SCi (Smart Charge injection)	Ford	Mondeo
	ECOTEC (Emissions Control Optimisation TEChnology)	General Motors	Opel Vectra, Opel Signum
2005	DISI (Direct Injection Spark Ignition)	Mazda	Mazdaspeed6, Mazda CX-7
2006	HPI (High Precision Injection)	BMW	Sedan 335i
	CGi (Charged Gasoline Injection)	Mercedes-Benz	Mercedes-Benz CLS 350
2009	GDI (Gasoline Direct Injection)	Ferrari	Ferrari 458 Italia



2011	GDI (Gasoline Direct Injection)	Hyundai	Sonata
2012	GDI (Gasoline Direct Injection)	Honda	Accord, Acura RLX



2 PRINCIP FUNKCE PŘÍMÉHO VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikovací systémy zážehových motorů se rozlišují podle místa vstřiku paliva na nepřímé a přímé. Vstřikování do sacího potrubí tj. mimo spalovací prostor se nazývá vstřikováním nepřímým, zatímco vstřikování do spalovacího prostoru se nazývá vstřikováním přímým. [4]

Existují dva typy nepřímého vstřikování benzínu - jednobodové (SPI - Singl Point Injection) a vícebodové (MPI - Multi Point Injection). Systém vstřikování SPI je vybaven pouze jedním vstřikovacím ventilem, který vstřikem do sacího potrubí zásobuje všechny spalovací prostory. V systému vstřikování MPI obsahuje jednotlivý sací kanál vlastní vstřikovací ventil, který dodává palivo do příslušného spalovacího prostoru. Nepřímé vstřikování benzínu je v porovnání s karburátorem obrovskou revoluční změnou ve všech již zmiňovaných směrech, avšak téměř dokonalého provozu nelze tímto způsobem vstřikování dosáhnout. To je dáno hlavně usazováním části paliva na studených stěnách motoru, především při startování. Z tohoto důvodu je zapotřebí dodávat do sacího potrubí větší množství paliva. Po zahřátí motoru dochází k tomu, že se palivo vypařuje, což způsobí nedostatek O_2 ve spalovacím prostoru, který je potřebný k hoření směsi. Tím dochází ke zvyšování emisí uhlovodíků, CO a dále také ke zvyšování množství dodávaného paliva, kterým se musí vykompenzovat nedostatek O_2 . [1] [4]

Motory vybavené přímým vstřikováním obsahují vstřikovací ventily, které dodávají benzín přímo do spalovacího prostoru. Palivo se ve spalovacím prostoru smísí buď jen s nasávaným vzduchem, nebo také s určitým množstvím recirkulovaných výfukových plynů. [1]

Při vstřiku benzínu do nasátého vzduchu nesmí dojít k samovznícení, jak je tomu u vznětových motorů, ale ke správnému rozprášení paliva, které je zaručeno vysokým vstřikovacím tlakem (až 13 MPa). Vzniklá směs se následně zažehne pomocí zapalovací svíčky a hoří téměř ideálním způsobem. [1]

2.1 TVORBA SMĚSI

Tvorba směsi se dělí podle množství paliva obsaženého v nasátém vzduchu. Poměr paliva se vzduchem popisuje součinitel přebytku vzduchu. [2]

2.1.1 SOUČINITEL PŘEBYTKU VZDUCHU

Součinitel přebytku vzduchu je bezrozměrná hodnota, která charakterizuje složení směsi. Nazývá se lambda a je dána poměrem přivedené hmoty vzduchu k teoretické potřebě vzduchu pro stechiometrický směšovací poměr. Stechiometrický poměr je ideální teoretický hmotnostní poměr s hodnotou 14,7:1. [2]

V případě, že je hodnota $\lambda=1$, tak hmotnost vzduchu odpovídá teoretické potřebě. Poměr vzduchu s palivem se nachází ve stechiometrickém poměru a vzniklá homogenní směs následně ideálně hoří a vzniká při ní minimum škodlivých látek. [2]



Pokud je hodnota $\lambda < 1$, tak se jedná o směs bohatou. V této oblasti má motor vysoký výkon a vyšší spotřebu. Vzniká zde přebytek paliva. Maximální výkon motoru se pohybuje při hodnotách $\lambda = 0,95-0,85$. [2]

Pokud je hodnota $\lambda > 1$, tak se jedná o směs chudou. V této oblasti má motor nižší spotřebu a také nízký výkon. Hodnoty λ se nacházejí pro chudou směs v rozmezí hodnot $\lambda = 1,05-1,3$. [2]

2.1.2 TVORBA VRSTVENÉ SMĚSI

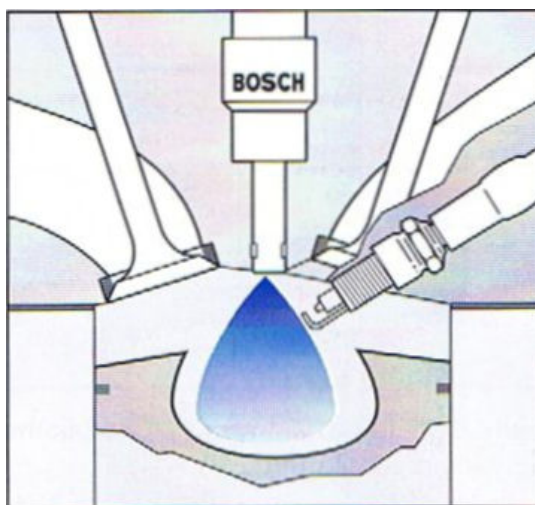
Vznik vrstvené směsi nastává ve spalovacím prostoru během komprese. Palivo je do spalovacího prostoru vstřikováno před koncem kompresního zdvihu pístu. Chudou směs nelze snadno zapálit, a to z důvodu nedostatečného množství paliva. Přesným nasměrováním paliva se docílí vzniku stechiometrické směsi v okolí svíčky, což je podmínkou zážehu. Ve zbývajících částech spalovacího prostoru se nachází směs velmi chudá, nebo pouze nasátý vzduch, popřípadě vzduch smíšený s recirkulovanými spalinami. [1]

Vzniku stechiometrické směsi v okolí svíčky lze dosáhnout třemi procesy spalování: procesem spalování vedeným paprskem, procesem spalování vedeným stěnami a procesem spalování vedeným nasávaným vzduchem. [3]

PROCES SPALOVÁNÍ VEDENÝ PAPSREM

Stechiometrická směs vzniká v okolí svíčky, a to vstřikem paliva ze vstřikovacího ventilu, který se nachází v ose válce. Vzdálenost mezi vstřikovacím ventilem a zapalovací svíčkou musí být minimální. Dalším požadavkem je přesné nasměrování paprsku do prostoru pod svíčkou. Tím dochází k přesnému umístění paliva a bezpečnému zážehu. [1] [3]

Při spalování vedeném paprskem jsou zapalovací svíčky vystavovány velké výměně tepla z důvodu častého smáčení vstřikovaným paprskem. [3]

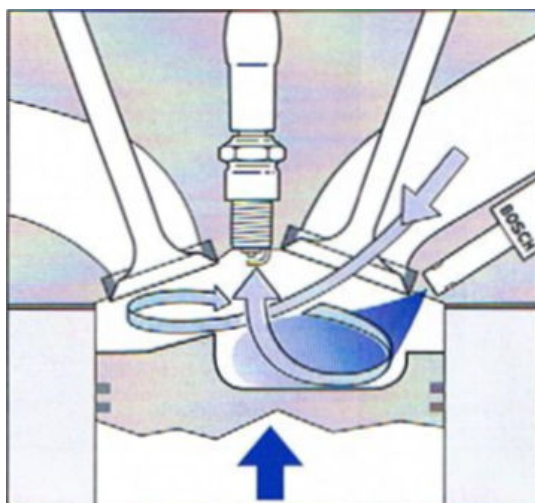


Obr. 2 Tvorba vrstvené směsi vedená paprskem [3]

PROCES SPALOVÁNÍ VEDENÝ STĚNAMI

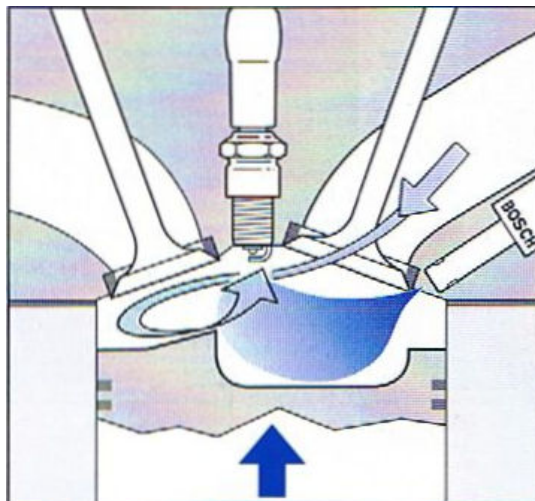
Stechiometrická směs vzniká v okolí svíčky, a to vstřikem paliva ze vstřikovacího ventilu, který se nachází na stěně válce. Vstřikování se provádí pod sklonem vůči kolmé ose válce. Palivo vstříknuté do spalovacího prostoru se vychýlí o speciálně upravený vrch pístu, který nasměruje palivo k zapalovací svíčce, a v kombinaci s prouděním nasávaného vzduchu se vzniklá stechiometrická směs dopraví do prostoru pod zapalovací svíčkou. Proudění nasávaného vzduchu je dvojího typu: vířivé (swirl) proudění a valivé (tumble) proudění. [1] [3]

Při vířivém proudění vzduchu dochází k turbulenci podél stěny válce. [3]



Obr. 3 Vířivé (swirl) proudění vedené stěnami [3]

„Při valivém proudění vzduchu, které vychází ze shora, dochází ke změně směru proudění v prohlubni vytvarovaného pístu a poté se opět pohybuje nahoru směrem k zapalovací svíčce.“ [3]

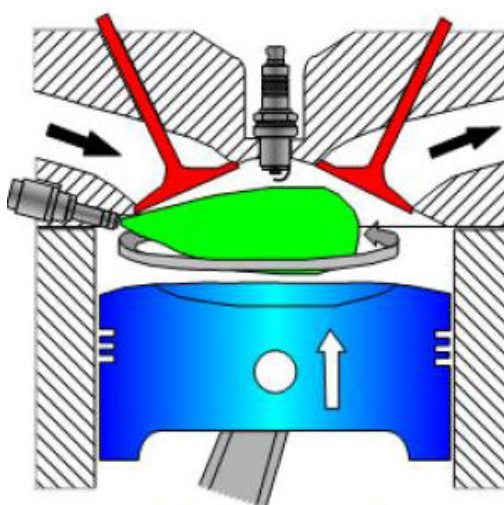


Obr. 4 Valivé (tumble) proudění vedené stěnami [3]

PROCES SPALOVÁNÍ VEDENÝ NASÁVANÝM VZDUCHEM

Systém obsahuje dva sací kanály, z nichž jeden je vybaven škrticí klapkou, která reguluje množství nasávaného vzduchu. [1]

V případě, kdy je klapka uzavřená, prochází vzduch pouze jedním sacím kanálem. Ve válci vzniká silný vzdušný vír, do kterého je palivo vstřikováno při kompresním zdvihu válce. Vznikem turbulentního proudění dochází ke snazšímu zážehu chudé směsi. [1]



Obr. 5 Tvorba vrstvené směsi vedená nasávaným vzduchem [12]



2.1.3 TVORBA HOMOGENNÍ A BOHATÉ SMĚSI

Homogenního a bohatého složení směsi se dosáhne vstřikem paliva během sacího zdvihu. Směs se rovnoměrně rozptýlí po celém spalovacím prostoru a ve válci tak vzniká rovnoměrná homogenní nebo bohatá směs. [1]

PROCES SPALOVÁNÍ VEDENÝ PAPRSKEM

Palivo dodávané během sání vstřikovacím ventilem, který je umístěn v ose válce, je rovnoměrně rozprášeno po celém spalovacím prostoru. Vzniklá homogenní směs má optimální vlastnosti k dokonalému hoření. [1]

PROCES SPALOVÁNÍ VEDENÝ STĚNAMI

Píst nasává vzduch, do kterého je následně vstříknuto palivo. Následuje uzavření sacích ventilů a v prohlubni ve dně pístu se změni směr proudění vzduchu s palivem tak, že pokračuje směrem k zapalovací svíčce. Ve válci tak vzniká rovnoměrná homogenní směs. [1]

PROCES SPALOVÁNÍ VEDENÝ NASÁVANÝM VZDUCHEM

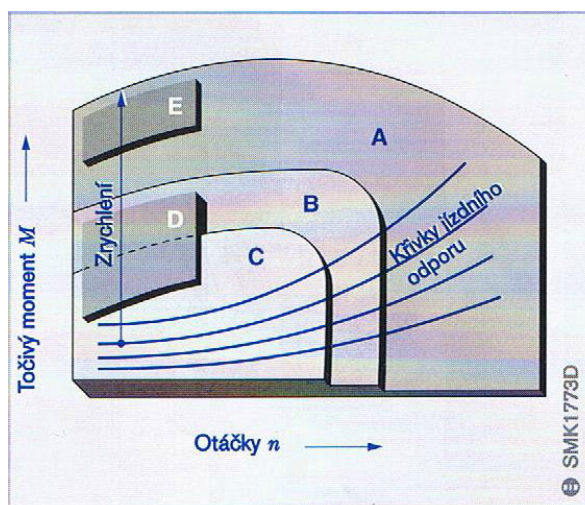
Píst nasává vzduch, který proudí dvěma sacími kanály, z nichž jeden obsahuje škrtkovou klapku. Nastavením klapky do otevřené polohy dochází k tzv. „převalování“ vzdušného proudění. Vzduch se pohybuje směrem dolů, v prohlubni pístu se směr proudění otočí a postupuje vzhůru k zapalovací svíčce. Vstřik paliva přichází při nasávání vzduchu a s využitím víření se směs rovnoměrně rozptýlí po celém prostoru. [1]

2.2 DRUHY PROVOZU

Pro přímé vstřikování benzínu existuje 6 možných druhů provozu:

- Provoz s vrstveným plněním
- Homogenní provoz
- Homogenní provoz s chudou směsí
- Homogenní provoz s vrstveným plněním
- Homogenní provoz chránící před klepáním
- Provoz s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru

Smyslem využívání všech šesti režimů je optimální chod motoru za různých jízdních podmínek. Změna točivého momentu nenastává skokově, nýbrž plynule během jízdy. Řidič tak nerozpozná přepnutí na jiný provozní režim. [3]



Obr. 6 Charakteristika druhů provozu [3]

- A. Homogenní provoz; tento druh provozu je možný ve všech oblastech
- B. Provoz s chudou náplní nebo homogenní provoz s recirkulací spalin; tento druh provozu je také v oblasti C a D
- C. Provoz s vrstveným plněním s recirkulací spalin a při dvojitým vstřikování provoz s vrstveným plněním a zahříváním katalyzátoru
- D. Homogenní provoz s vrstveným plněním; druh provozu s dvojitým vstřikováním
- E. Homogenní provoz chránící před klepáním; druh provozu s dvojitým vstřikováním

PROVOZ S VRSTVENÝM PLNĚNÍM

Provoz s vrstveným plněním probíhá při otáčkách motoru do 3000 min^{-1} . Vstřikování paliva probíhá během komprese a vzniklá směs je velmi chudá. To má za následek vznik škodlivých plynů NO_x , které jsou regulovány přívodem recirkulovaných spalin. Recirkulované spaliny snižují teplotu hoření, za které je vznik NO_x podstatně nižší. [3]

„Provoz s vrstveným plněním je vymezen veličinami „otáčky“ a „točivý moment“. Při příliš vysokém točivém momentu vznikají saze následkem lokálních bohatých oblastí. Při příliš vysokých otáčkách nelze tvorbu vrstvené náplně a potřebný transport směsi k zapalovací svíčke zachovat kvůli příliš vysokým turbulentním ve válci.“ [3]

HOMOGENNÍ PROVOZ

Homogenní provoz probíhá při vysokém točivém momentu a vysokých otáčkách. Palivo je vstřikováno během sání a je dávkováno tak, aby vzniklá směs byla stechiometrická nebo ve výjimečných případech bohatá. Při homogenním provozu vzniká pouze malé množství škodlivých látek a provoz z velké části odpovídá nepřímému vstřikování. [3]



HOMOGENNÍ PROVOZ S CHUDOU SMĚSÍ

„V přechodové oblasti mezi provozem s vrstveným plněním a homogenním provozem může motor pracovat s homogenní chudou směsí. Při homogenním provozu s chudou směsí je spotřeba paliva vůči homogennímu provozu nižší, protože ztráty způsobené výměnou obsahu válce jsou díky otevřené škrtkové klapce nižší.“ [3]

HOMOGENNÍ PROVOZ S VRSTVENÝM PLNĚNÍM

Při homogenním provozu s vrstveným plněním dochází k tzv. „dvojnásobnému vstřikování“. Během sání je do spalovacího prostoru vstřikováno kolem 75% paliva, které vytvoří homogenní chudou základní směs. Ke vstřikování zbylého množství paliva dochází během komprese. Tím vznikne v blízkosti zapalovací svíčky oblast s bohatší směsí, která je již lehce zapalitelná a dokáže svým plamenem zapálit zbylou homogenní chudou směs. [3]

„Homogenní provoz s vrstveným plněním je aktivován po několika pracovních cyklech během přepnutí mezi provozem s vrstveným plněním a homogenním provozem. Systém řízení motoru tak může lépe nastavit točivý moment během přepínání a díky velmi chudé základní směsi s $\lambda > 2$ klesnou emise NO_x .“ [3]

HOMOGENNÍ PROVOZ CHRÁNÍCÍ PŘED KLEPÁNÍM

Při provozu chránícím před klepáním dochází, podobně jako v předchozím případě, k tzv. „dvojnásobnému vstřikování“, které je prováděno při vysokých otáčkách. Hlavním důvodem využívání tohoto provozu je zábrana klepání motoru, aniž by muselo dojít k přenastavení předstihu směrem k „později“. Navíc se s výhodnějším předstihem zvyšuje točivý moment. [3]

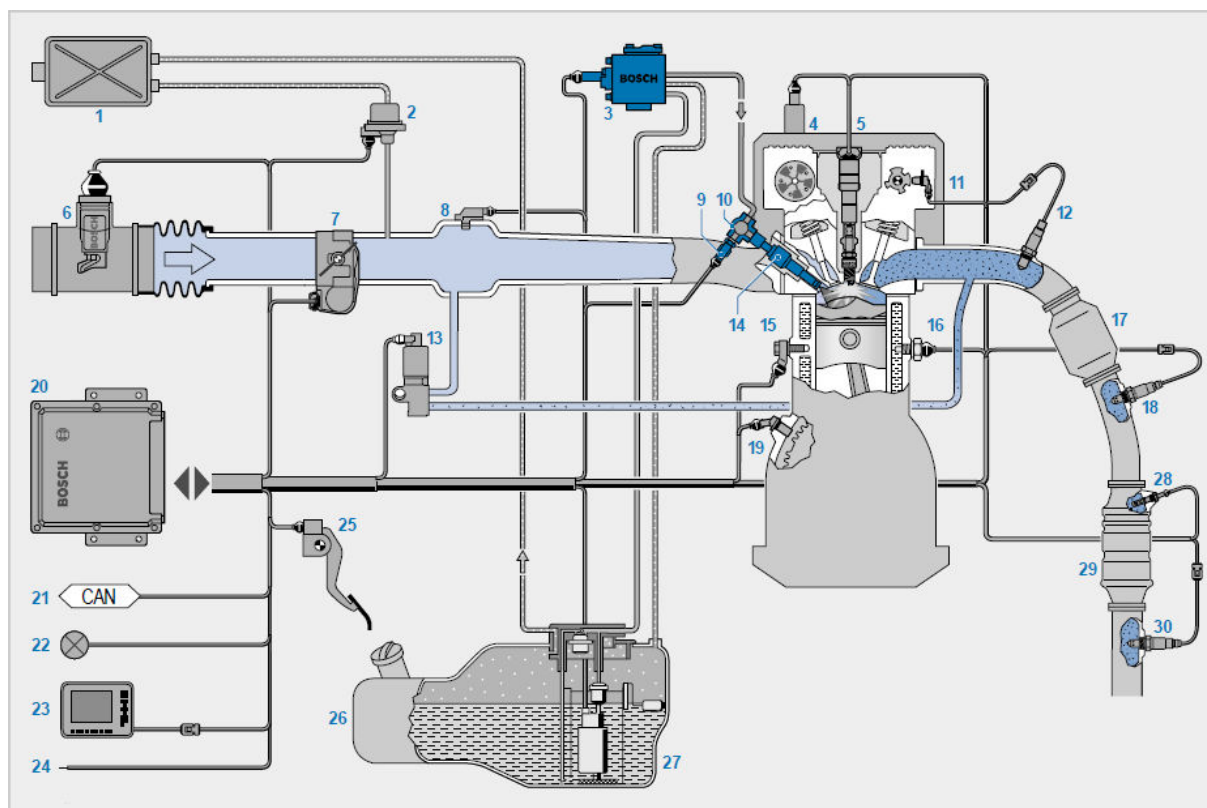
PROVOZ S VRSTVENÝM PLNĚNÍM A ZAHŘÍVÁNÍM KATALYZÁTORU

Tento provoz je dalším druhem dvojího vstřikování, který zajišťuje rychlé zahřátí výfukového systému. První část paliva se vstřikuje během komprese a vzniká tak vrstvená směs. Druhá část paliva je vstřikována během expanze. K hoření paliva tak dochází se zpožděním, což má za následek silné zahřívání výfukového potrubí. [3]

Nejdůležitějším důvodem využívání popisovaného provozu je ohřev katalyzátoru NO_x , který musí být ohřát minimálně na teplotu 650°C , aby došlo k jeho odsíření. [3]



2.3 POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ SYSTÉMU



Obr. 7 Schéma systému přímého vstřikování MED Motronic [13]

- | | |
|---|--|
| 1) zásobník s aktivním uhlím | 14) vysokotlaký vstřikovací ventil |
| 2) regenerační ventil | 15) senzor klepání motoru |
| 3) vysokotlaké palivové čerpadlo s integrovaným regulačním ventilem paliva | 16) senzor teploty motoru |
| 4) akční členy a senzory pro variabilní časování ventilů | 17) primární třícestný katalyzátor |
| 5) zapalovací cívka a svíčka | 18) lambda sonda za primárním katalyzátorem |
| 6) měřič hmotnosti nasávaného vzduchu s vyhřívaným filmem a s integrovaným teplotním senzorem | 19) snímač otáček motoru |
| 7) škrticí klapka EGAS se snímačem polohy | 20) řídicí jednotka (ECU) |
| 8) senzor tlaku vzduchu | 21) rozhraní CAN |
| 9) senzor tlaku paliva | 22) kontrolka poruchy |
| 10) vysokotlaký palivový zásobník | 23) diagnostické rozhraní |
| 11) senzor polohy vačkového hřídele | 24) rozhraní s imobilizérem ECU |
| 12) lambda sonda před primárním katalyzátorem | 25) plynový pedál se senzorem polohy |
| 13) ventil recirkulačních výfukových plynů | 26) palivová nádrž |
| | 27) elektrické palivové čerpadlo s palivovým filtrem a regulátorem tlaku paliva |
| | 28) senzor teploty výfukových plynů |
| | 29) katalyzátor NO _x plynů, lambda sonda za katalyzátor NO _x |
| | 30) |

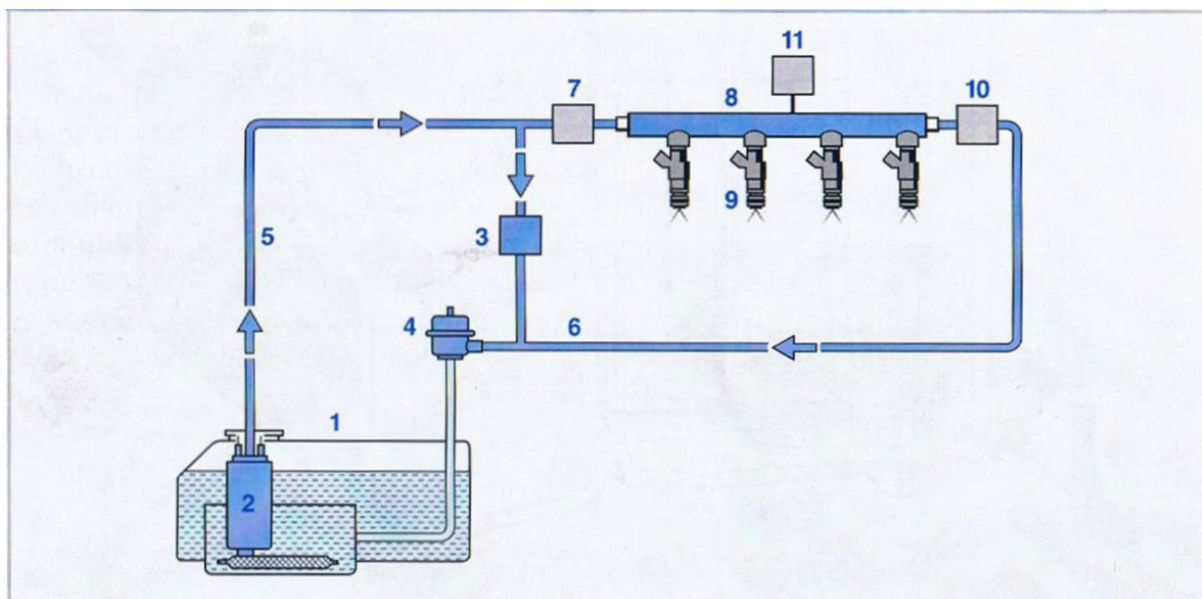


2.3.1 ELEKTRONICKÝ SYSTÉM ŘÍZENÍ

„Elektronický systém řízení moderního zážehového motoru spojuje v jedné řídicí jednotce kompletní elektroniku řízení zážehového motoru.“ Řídicí jednotka obsahuje mikroprocesor, do kterého přicházejí informace pomocí vstupů z jednotlivých snímačů spalovacího systému. Mikroprocesor data vyhodnotí a rozpozná z nich aktuální stav. Následně data porovná s daty předprogramovanými a vyšle pomocí výstupů informace jednotlivým součástím spalovacího systému. „Tím je dosaženo optimálního spolupůsobení vstřikování, optimální přípravy směsi a její zapálení ve správný okamžik při rozličných provozních stavech zážehového motoru.“ [6]

2.3.2 PALIVOVÝ SYSTÉM

Palivový systém se skládá ze dvou základních částí. Tou první je nízkotlaký palivový okruh, který dodává pomocí elektrického čerpadla palivo o maximálním tlaku 0,35 MPa do čerpadla vysokotlakého. Druhá část palivového systému se nazývá vysokotlaký palivový okruh, který dodává pomocí vysokotlakého čerpadla hnaného motorem palivo o tlaku 5 až 12 MPa do spalovacího prostoru. [7]



Obr. 8 Schéma palivového systému [13]

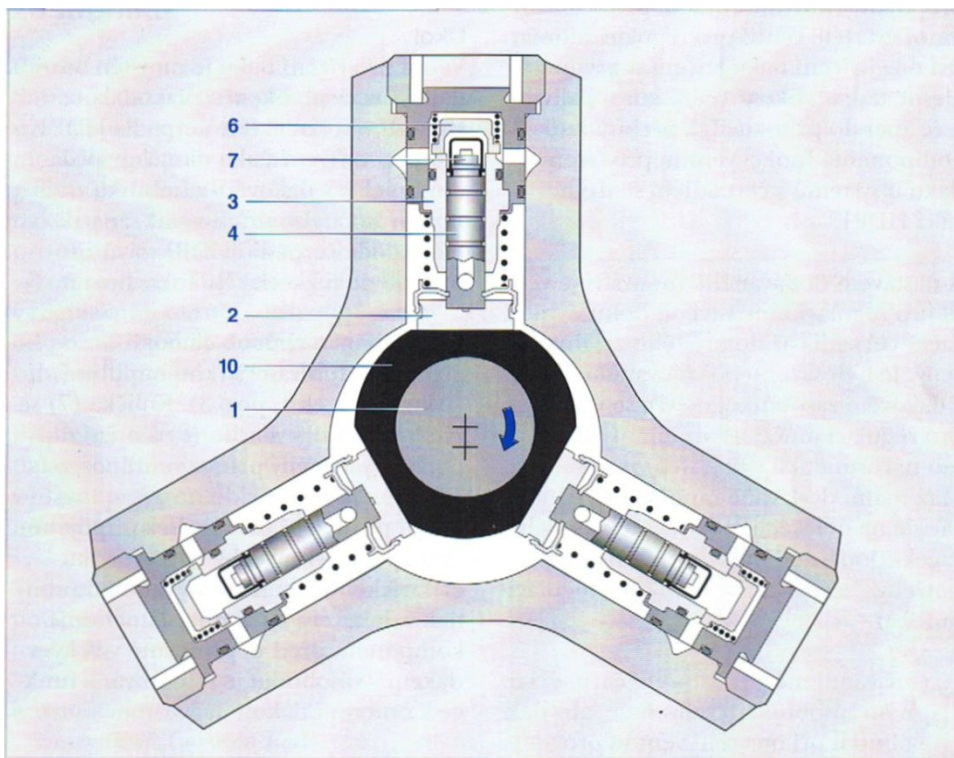
- | | |
|---|------------------------------------|
| 1) palivová nádrž | 6) zpětné palivové vedení |
| 2) elektrické palivové čerpadlo
s integrovaným redukčním
ventilem tlaku a čističem paliva | 7) vysokotlaké čerpadlo |
| 3) uzavírací ventil | 8) tlakový zásobník |
| 4) regulátoru tlaku | 9) vysokotlaké vstřikovací ventily |
| 5) palivové vedení | 10) ventil pro řízení tlaku |
| | 11) snímač tlaku paliva |



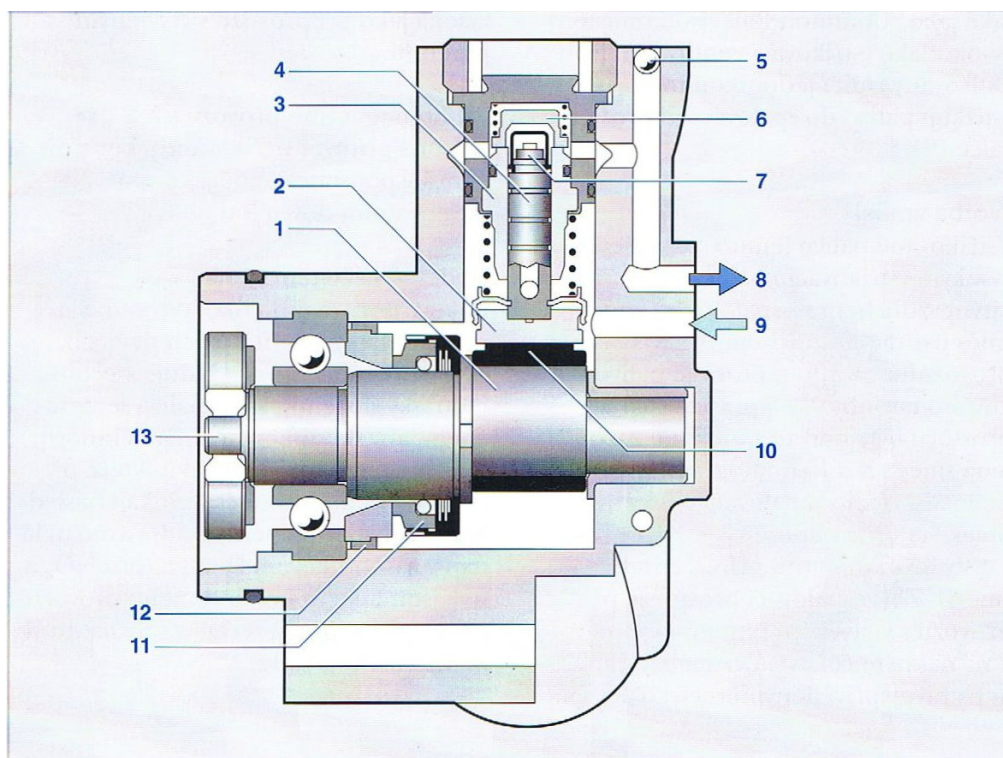
Nízkotlaký palivový okruh se nachází přímo v nádrži automobilu nebo v její blízkosti. Okruh se skládá z 1) palivové nádrže, ve které se zpravidla nachází 2) elektrické palivové čerpadlo s integrovaným redukčním ventilem tlaku a čističem paliva. Čerpadlo je napojeno na 5) palivové vedení, které ústí do 7) vysokotlakého čerpadla. Ke stálému udržování tlaku, okolo 0,3 MPa v oblasti u vstupu vysokotlakého palivového čerpadla, slouží 4) regulátor tlaku, který přebytečné palivo propouští zpět do nádrže. „V případě, že teplota paliva na vstupu do vysokotlakého čerpadla je příliš vysoká, při startu teplého motoru a následném volnoběhu, je nutno zabránit vzniku parních bublin v tomto čerpadle.“ [7] Toho se docílí pomocí 3) uzavíracího ventilu. Při vysoké teplotě je ventil uzavřen, tím dojde ke zvýšení tlaku až na 0,5 MPa a k odstranění parních bublin. Pro danou situaci je konstantní tlak řízen regulačním ventilem integrovaným v čerpadle. Doba tohoto oběhu trvá v rozmezí 30 až 60 sekund, než dojde k ochlazení průtoku palivem z nádrže. Při běžné teplotě je 3) uzavírací ventil zcela otevřen a tlak paliva je řízen pomocí již zmiňovaného 4) regulátoru tlaku. [3] [7]

Vysokotlaký okruh je napojen na okruh nízkotlaký a skládá se z 7) vysokotlakého čerpadla, které přivádí palivo pomocí palivového vedení do 8) tlakového zásobníku. Tlakový zásobník je opatřen dvěma 11) snímači tlaku paliva, které dodávají informace do řídicí jednotky. V případě navýšení tlaku dojde k propuštění části paliva zpět do nádrže pomocí 10) ventilu pro řízení tlaku. Z tlakového zásobníku vystupují 9) vysokotlaké vstřikovací ventily, které zásobují spalovací prostor potřebným množstvím paliva. [3] [7]

VYSOKOTLAKÉ PALIVOVÉ ČERPADLO



Obr. 9 Příčný průřez vysokotlakým čerpadlem se třemi válci [3]



Obr. 10 Radiální průřez vysokotlakým čerpadlem se třemi válci [3]

Vysokotlaké čerpadlo, jehož pohon je získán přívodem na motor, dodává palivo o tlaku 5 až 13 MPa do spalovacího prostoru. Čerpadlo musí být chlazeno a mazáno palivem, z toho důvodu, aby nedocházelo ke smíšení s mazivem. [7]

Do vysokotlakého čerpadla je 9) vstupním otvorem vtlačováno palivo o tlaku kolem 0,3 MPa. Čerpadlo na obrázku je tvořeno třemi 3) dutými písty, které se pohybují ve 4) válcích. Při pohybu pístu směrem k ose otáčení vzniká na druhém konci prostor, do kterého je vtlačeno palivo. Prostor je ohraničen otevřeným 7) dopravním ventilem a uzavřeným 6) výtlačným ventilem. Při pohybu pístu směrem od středu rotace dojde k otevření 6) výtlačného ventilu a k uzavření 7) dopravního ventilu. Tím je palivo vytlačeno do 8) výstupního otvoru a následně putuje do tlakového zásobníku. Pohyby pístu jsou dány za pomoci 1) excentru. Ten pomocí 10) kluzného kroužku nadzvedává 2) kluzák. Aby nedošlo k úniku paliva, je čerpadlo vybaveno 11) axiální ucpávkou a 12) těsněním. [3] [7]

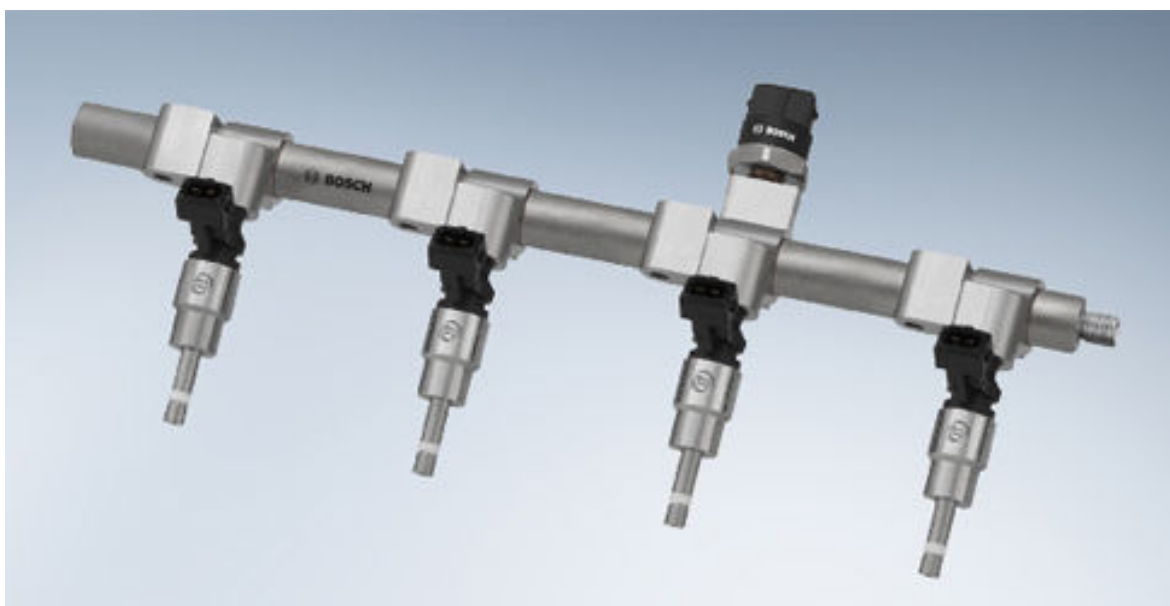
TLAKOVÝ ZÁSOBNÍK PALIVA

Tlakový zásobník paliva slouží k uchovávání paliva, které je přivedeno pomocí palivového vedení z vysokotlakového čerpadla. Palivo je následně pomocí vstřikovacích ventilů dodáváno do spalovacího prostoru. [3] [6]

Na palivový zásobník jsou kladeny dva velmi důležité parametry, které musejí být správně vyváženy. Jedním z těchto parametrů je pružnost. Palivový zásobník musí mít dostatečnou pružnost, aby mohl tlumit jak pulzy vznikající periodickými odběry paliva, tak i pulzy vzniklé z periodického dávkování čerpadla. Druhým z parametrů je tuhost. Zásobník

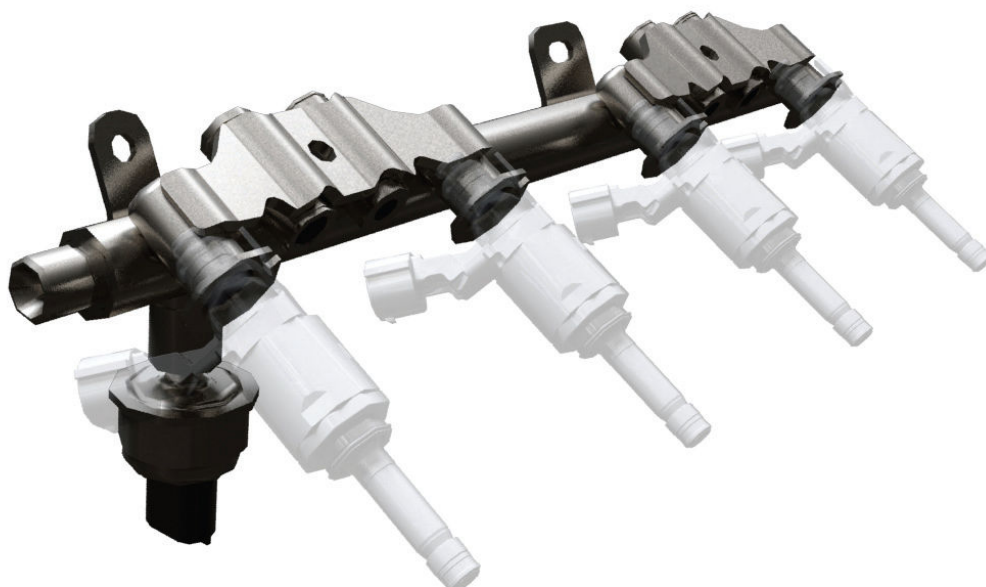


musí být dostatečně tuhý, aby tlak paliva mohl být dostatečně rychle přizpůsobován požadavkům motoru. [6]



Obr. 11 Tlakový zásobník paliva firmy BOSCH [14]

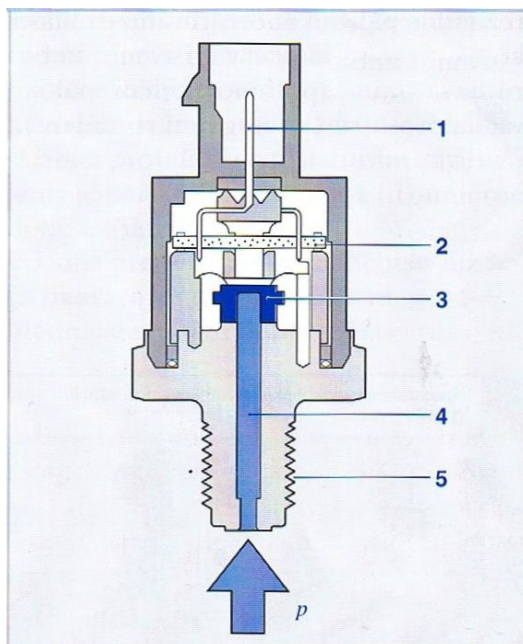
Zásobník je opatřen tlakovými snímači, které hlídají tlak a v případě nadlimitní hodnoty dají signál do řídicí jednotky, která otevře redukční ventil. Ten následně odpustí potřebné množství paliva zpět do nádrže. Materiál zásobníků je tvořen slitinami hliníku. [6]



Obr. 12 Tlakový zásobník paliva firmy DENSO [27]



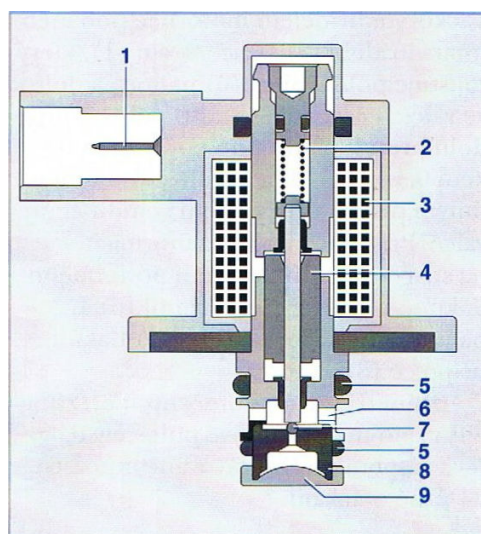
SNÍMAČ TLAKU PALIVA



Obr. 13 Snímač tlaku paliva v zásobníku [3]

Snímač tlaku paliva je pomocí 5) upevňovacího závitu připevněn na tlakový zásobník, z něhož je přiváděno úzkou 4) tlakovou přípojkou palivo až k 3) ocelové membráně, na kterou palivo vytváří tlak. Ocelová membrána je opatřena tenzometrickými snímači deformace, které jsou napojeny na 2) elektrický obvod. Ten vyhodnotí velikost tlaku v zásobníku a pomocí 1) konektoru je informace vedena do řídicí jednotky. [3] [7]

REGULAČNÍ VENTIL TLAKU PALIVA

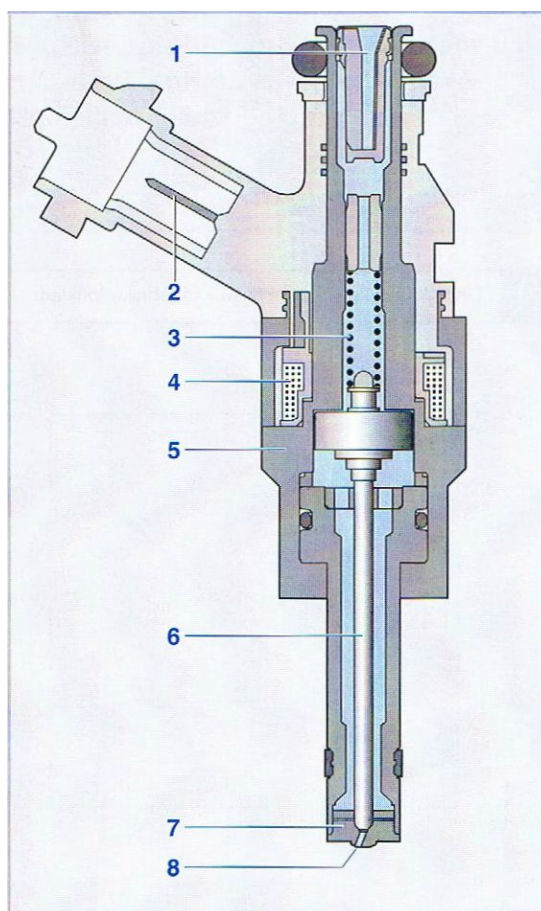


Obr. 14 Řez regulačním ventilem [3]



Regulační ventil je ovládán informacemi z řídicí jednotky, jež do něj vstupují pomocí 1) konektoru. Ventil je opatřen 3) cívkou, která pomocí proudu vytváří magnetické pole. To následně vtahuje do cívky 4) kotvu. Na kotvu je připevněna 2) tlačná pružina, jejímž úkolem je vracet kotvu zpět do základní polohy. Při nadzvednutí kotvy dochází k otevírání 5) kuličkového ventilu, kterým protéká palivo přes 9) sítko do 6) odtokového prostoru. Ventil je pomocí 5) „O“ kroužku utěsněn v zásobníku. Stlačitelnost pružiny je navržena tak, že pokud nastane v zásobníku limitní hodnota tlaku, dojde ke stlačení pružiny. [3] [7]

ELEKTROMAGNETICKÝ VSTŘIKOVACÍ VENTIL



Obr. 15 Vysokotlaký elektromagnetický vstřikovací ventil [3]

Elektromagnetický vstřikovací ventil se skládá z 1) jemného sítky, přes které proudí palivo ze zásobníku do prostoru nad 7) sedlem jehly. Na 6) jehlu působí 3) tlaková pružina, která zabraňuje průtoku paliva tryskou. Tryska je opatřena 4) elektromagnetem, který je napájen 2) konektorem a pohybuje s 6) jehlou pomocí 4) kotvy elektromagnetu. Palivo se do spalovacího prostoru dostává 8) vstřikovým otvorem. [7]



PIEZOELEKTRICKÝ VSTŘIKOVACÍ VENTIL

Piezoelektrické vstřikovací ventily mají v porovnání s elektromagnetickými dokonalejší vstřikovací vlastnosti (vyšší rychlost, přesnost, možnost kontroly), což vede k úspornějšímu provozu automobilu. Úspora se pohybuje v hodnotách až kolem 20%. [10]

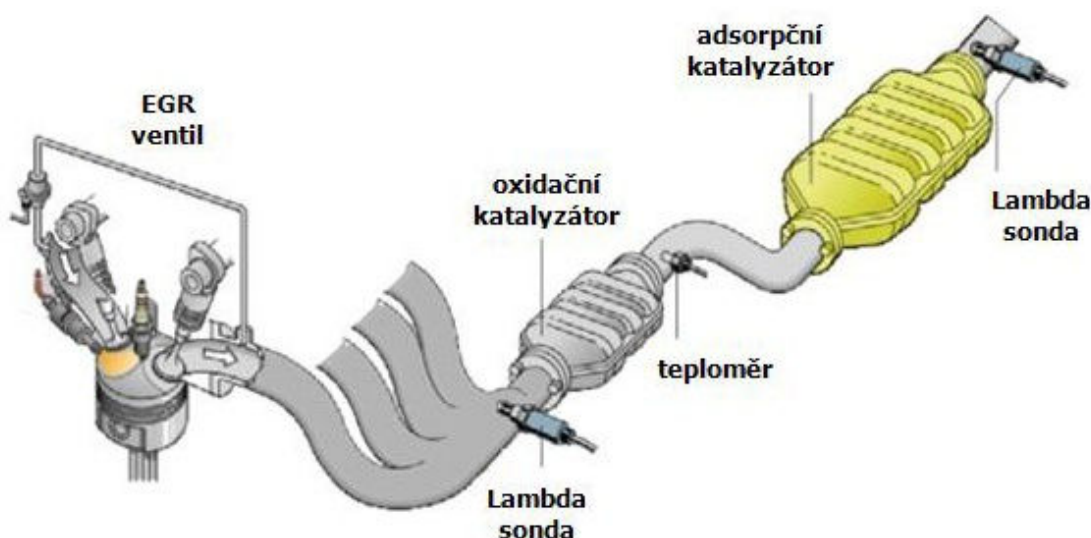
Vstřikovací ventily obsahují pravidelnou krystalovou mřížku s kladně a záporně nabitými ionty. Elektrické napětí vedené z řídicí jednotky mřížku rychle deformuje, čehož se využije k pohybu vstřikovací jehly. Vstřikovací ventily jsou vyrobeny z keramického materiálu mající piezoelektrické vlastnosti. Do keramického materiálu je přidáván PbO nebo ZrO_2 , který dopomáhá odolávat vysokým teplotám ve spalovacím prostoru. [6] [10]



Obr. 16 Piezoelektrický vstřikovací ventil vozů BMW [15]

2.3.3 VÝFUKOVÝ SYSTÉM

Výfukový systém je poslední částí spalovacího procesu. Vzniklé spaliny jsou zde odváděny do okolního prostředí. Spaliny obsahují velké množství škodlivých látek např. CO, HC, NO_x , které se před vypuštěním do okolního prostředí musí odstranit (přeměnit na látky, které nejsou škodlivé). Další povinností výfukového systému je tlumit hluk odcházejících spalin pomocí tlumiče. Tlumení spalin však musí být prováděno takovým způsobem, aby výkon motoru byl omezován pouze v minimální míře. [6] [9]



Obr. 17 Schéma výfukového systému zážehových motorů [16]

KATALYTICKÉ KONVERTORY (KATALYZÁTORY)

Katalytické konvertory jsou součástí výfukového systému, které obsahují vzácné kovy (platinu, rhodium a palladium). Tyto kovy následně přeměňují nebezpečné výfukové plyny na neškodné. [6] [8]

U přímého vstřikování benzínu jsou zapotřebí dva katalytické konvertory. Prvním z nich je konvertor oxidační (třícestný). Tento konvertor odstraňuje všechny tři škodlivé složky CO, HC a NO_x . Jeho hlavní funkcí je především odstraňovat CO a HC, protože oxidy dusíku zvládá odstranit pouze při spalování stechiometrické směsi. Třícestný konvertor se také využívá k přeměně nebezpečných plynů při startování. Konvertory začínají pracovat při teplotách nad 300°C . Třícestný konvertor je umístěn v blízkosti spalovacího prostoru, což vede k jeho rychlejšímu ohřevu. [6] [8] [9]

Oxidační konvertor je tvořen keramikou, která je potažena slabou vrstvou již zmiňovaných vzácných kovů. Aby mohlo dojít k oxidaci škodlivých plynů, je zapotřebí O_2 , který se do konvertoru dostává při spalování chudé směsi. [6] [9]

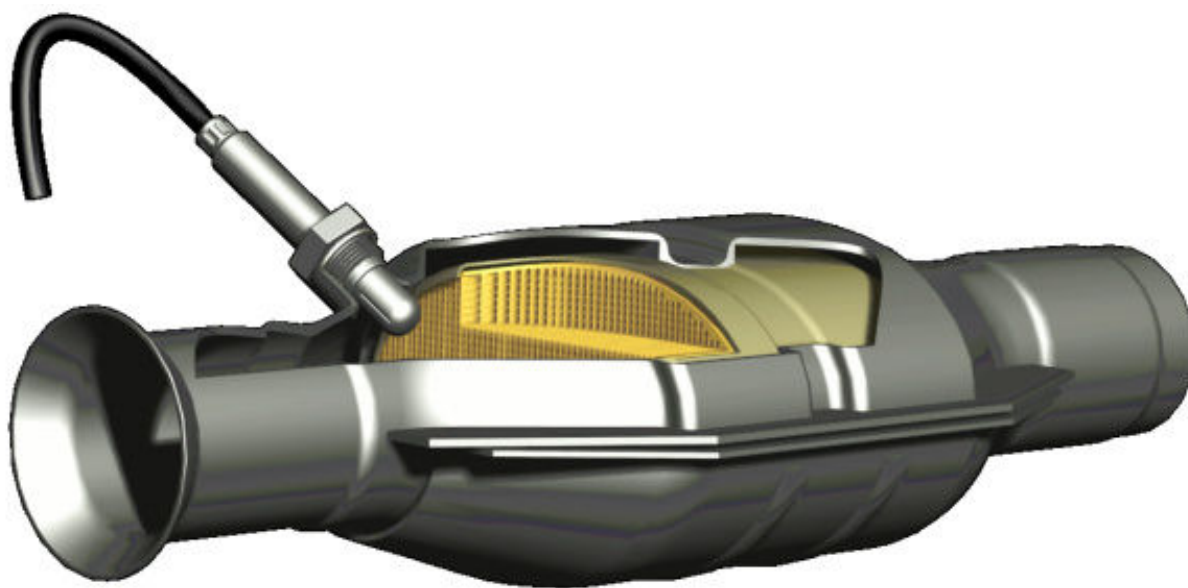
Druhým katalytickým konvertorem obsaženým ve výfukovém systému je adsorpční katalytický konvertor, který byl vyvinut na přeměnu velkého množství NO_x vznikajících při spalování chudé směsi. [6] [9]

Konvertor obsahuje kromě Pt, Rh a Pd také adsorpční materiál, který je tvořen soli barya (Ba). Tyto soli na sebe vážou NO_x , čímž dochází ke vzniku tzv. dusičnanů, které mají pevné skupenství a usazují se v prostorách konvertoru. Délka procesu může probíhat maximálně 1 minutu. Po zaplnění konvertoru musí dojít ve spalovacím prostoru k hoření obohacené směsi. Z důvodu hospodárnosti provozu trvá hoření v rozmezí 1 až 2s. Shořelá obohacená směs obsahuje větší množství HC a CO, které pomocí ušlechtilých kovů přemění pevné dusičnany zpět na NO_x . Následně dochází k reakci NO_x s HC a CO a s pomocí



ušlechtilých kovů vytvářejí neškodné plyny (N , CO_2 a H_2O). Celý tento cyklus se pak nadále neustále opakuje. [6] [8] [9]

Ke správnému řízení tohoto cyklu je zapotřebí snímače na měření NO_x a lambda sondy. Oba snímače se nacházejí za absorpčním konvertorem. Snímač NO_x slouží k vyhodnocování situace, kdy je absorpční konvertor zcela zaplněn již zmiňovanými usazenými dusičnany. Konvertor v této chvíli přestává pracovat, čímž dochází ke vzniku značného množství NO_x . Řídící jednotka změni provoz na tvorbu obohacené směsi po dobu, než se konvertor vyprázdní. Po vyprázdnění přepne řídící jednotka pomocí lambda sondy tvorbu směsi zpět na chudou (vrstvenou). [6] [8] [9]



Obr. 18 Katalytický konvertor [17]

LAMBDA SONDY

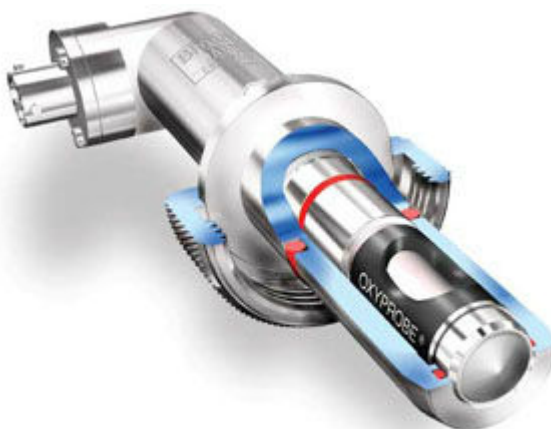
Lambda sondy jsou kontrolní snímače, které dávají informaci řídící jednotce o stavu O_2 ve výfukových plynech. Řídící jednotka tím rozpozná, zda probíhá spalování chudé směsi (obsah O_2 je větší) nebo směsi homogenní (obsah O_2 je minimální). Spalovací systém obsahuje až 4 lambda sondy, které bývají umístěny vpřed i za katalytickými konvertory. [6] [8]

NAPĚŤOVÁ LAMBDA SONDA

Napěťová lambda sonda je druh snímače na měření O_2 ve výfukových plynech. Tato sonda pracuje při provozní teplotě od $250-950^{\circ}C$. Je vybavena topným tělesem, které sondu ohřívá na provozní teplotu $300^{\circ}C$. Využití vyhřívání je především při startování, kdy je sonda studená. Zkrátí se tím doba, kdy je sonda mimo provoz. [8]



Sonda se skládá ze dvou elektrod umístěných v keramickém jádře chráněným kovovým obalem. Přes vnitřní elektrodu je proháněn okolní vzduch obsahující 20,8% O_2 . Vnější elektroda je zabudována do výfukových plynů a měří množství O_2 , které se pohybuje v rozmezí od 0,3-3%. Elektroda obsahuje aktivní keramiku potaženou platinovým povlakem. Porovnáním napětí na elektrodách dochází k vyhodnocení druhu směsi. Napětí se nachází v rozmezí od 0,1-0,9V. Bohatá směs paliva je charakterizována čísly blízkými se k hodnotě 0,9V, naopak směs chudá se blíží k číslu 0,1V. [8]



Obr. 19 Kyslíková lambda sonda [18]

ŠIROKOPÁSMOVÁ LAMBDA SONDA

Širokopásmová lambda sonda pracuje na změně elektrického proudu. Je složena z dvojité elektrody, která vytváří napětí. Aby bylo dosaženo konstantního napětí 450mV na elektrodách, je zapotřebí speciálního čerpacího článku, který reguluje průtok výfukových plynů. Napětí se následně mění podle obsahu O_2 ve výfukových plynech. Změna napětí nastává pomocí fyzikálního principu, který přitahuje záporné ionty O_2 . Navýšení napětí dodává řídicí jednotce informaci, že je spalována chudá směs. U bohaté směsi je tomu přesně naopak. [8]

ODPOROVÁ LAMBDA SONDA

Odporová lambda sonda je tvořena titandioxidem (TiO_2). Tento materiál způsobuje při větším množství O_2 vysoký vnitřní odpor v sondě. U chudé směsi naopak odpor nízký. [8]

Sonda pracuje při teplotách 500-900°C a je vyhřívána topným rezistorem. Její druhou funkcí je nepřímě měřit teplotu výfukových plynů. Jakmile teplota překročí hranici 700°C, dodává sonda řídicí jednotce signál k prodloužení vstřiku paliva za účelem obohacení směsi. Při nízké teplotě spalin naopak dochází ke zkrácení vstřiku paliva za účelem ochuzení palivové směsi. [8]



RECIRKULACE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Recirkulace výfukových plynů označovaná jako EGR (Exhaust Gas Recirculation) je metoda patentovaná firmou Toyota. Její funkcí je snižovat obsah NO_x pomocí zpětného vedení části výfukových plynů zpět do sacího potrubí. Množství spalín je řízeno pomocí recirkulačního ventilu. [8]

Do spalovacího prostoru je recirkulováno maximálně 20% výfukových plynů. Recirkulované plyny neobsahují téměř žádný O_2 , což z nich dělá tzv. inertní (netečné) plyny. Spalovací prostor je tedy ochuzen o O_2 , což má za následek snížení výkonu, ale zároveň snížení tzv. špičkové teploty, která vytváří nežádoucí NO_x . Recirkulace výfukových plynů snižuje množství NO_x až o 20%. [9]



3 VYBRANÉ KONCEPTY AUTOMOBILOVÝCH SPOLEČNOSTÍ

3.1 KONCERN VOLKSWAGEN, MOTORY FSI, TSI

3.1.1 MOTORY FSI (FUEL STRATIFIED INJECTION)

Motory FSI jsou zážehové motory s technologií přímého vstřikování benzínu. Ke tvorbě vrstvené směsi používají proces, kdy je palivo směřováno k zapalovací svíčce pomocí vrchlíku na dně pístu. Tento proces se nazývá „Proces vedený stěnami“ a byl již popsán v druhé kapitole. Řídící jednotka sloužící k řízení celého procesu se nazývá MED-Motronic a je produktem německé společnosti Bosch. [3] [8]



Obr. 20 Přiškrcení proudu vzduchu klapkou tumble [28]

3.1.2 MOTORY TSI (TWINCHARGET STRATIFIED INJECTION)

Motory TSI jsou přeplňované benzínové motory s technologií přímého vstřikování benzínu. Jejich hlavní předností je vysoký výkon získaný z malého objemu motoru. [24]

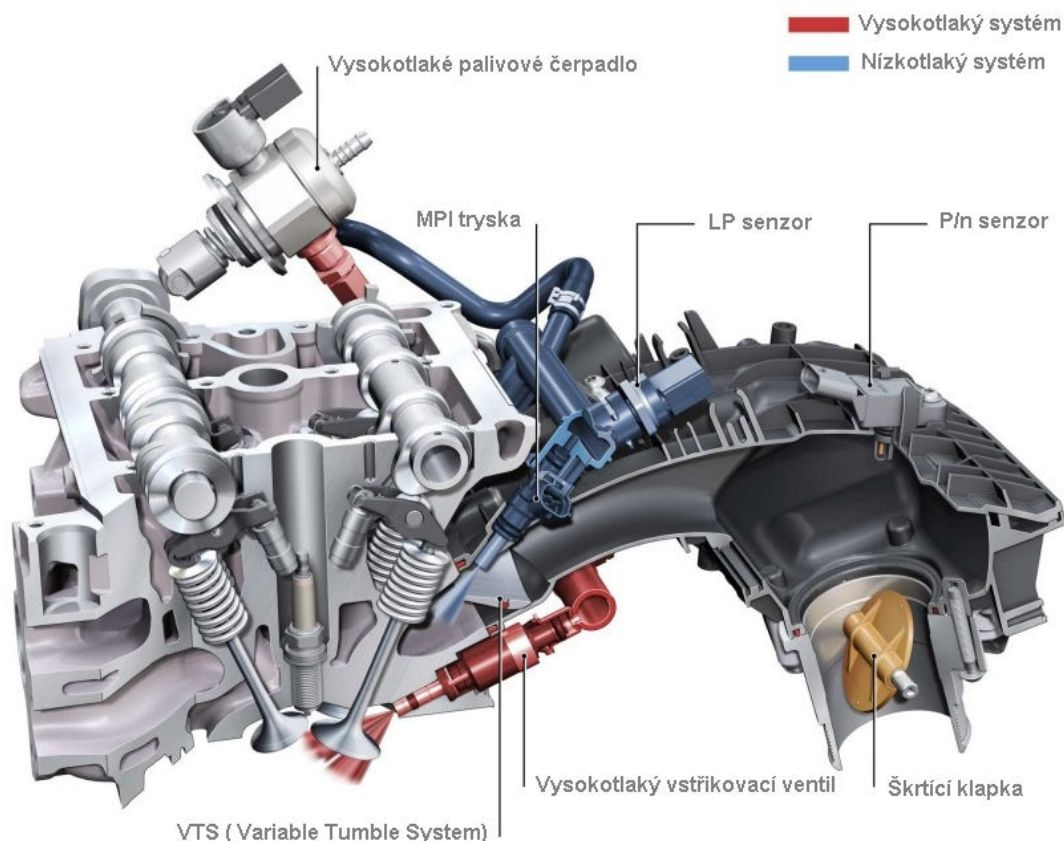
První motor 1,4 TSI byl vyroben již v roce 2005 a byl výjimečný dvojitým přeplňováním pomocí turbodmyhadla a Rootsova kompresoru. Pomocí této technologie měl motor výkon srovnatelný s motory o objemu 2,3 litru a zároveň nižší spotřebu o 20%. [24]



Obr. 21 Motor TSI [24]

Pod stejným písemným označení TSI (Turbocharged Stratified Injection) přišel v roce 2008 Volkswagen s novým druhem motoru. Motor již neměl dvojité přeplňování, ale pouze jedno malé turbodmychadlo s elektricky řízeným obtokem, které rychle reagovalo na pokyny řidiče. [24]

Nová generace motorů TSI přinesla technologickou novinku u motoru 1,8 TSI kombinující přímé vstřikování (VTS) a nepřímé vstřikování (MPI). Motor tak obsahoval dva vstřikovací ventily na jeden válec. [24]



Obr. 22 Motor s kombinací VTS a MPI [24]

3.2 RENAULT, ENERGY TCE

Motory TCE (Turbo Control Efficiency) jsou nízkoobjemové přeplňované zážehové motory společnosti Renault. První motor s tímto označením byl představen v roce 2007 na Ženevském autosalonu v modelu Renault Twingo GT. Motory se vyrábějí z recyklovatelných materiálů a emise CO₂ se nacházejí pod hranicí 140g/km. [26]

V roce 2011 přichází automobilová společnost Renault s novým motorem pod názvem H5Ft TCe 115 Energy vybaveným přímým vstřikováním benzínu a turbodmychadlem. Zvláštností je, že vysokotlaký okruh nemá vratné palivové potrubí. [26]

„Vysokotlaké čerpadlo DENSO je vybaveno dvouúrovňovým integrovaným regulátorem tlaku pro optimalizaci výkonu a spotřeby motoru.“ Montáž čerpadla je provedena na konci vačkového hřídele výfukových ventilů. „Regulace se provádí zdvihátkem, které se dotýká čtvercové vačky, která je integrována do vačkového hřídele výfukových ventilů.“ Čerpadlo také obsahuje integrovaný systém regulace průtoku PCV, který reguluje průtokový tlak v rozmezí od 20 do 150 barů. [27]



Obr. 23 Motor H5Ft TCE 115 Energy [27]




Vstřikovací trysky DENSO mají kratší dobu vstřiku s porovnáním vstřikovacích trysek MPI. Cílem vstřikování je zajistit optimálního spalování, čímž se docílí dvojfázovým vstřikem. V první fázi nastává tzv. předstřík a po zapálení směsi dochází ke spuštění pístu. V druhé fázi dochází ke vstřiku dalšího množství paliva. Toto palivo je vstřikováno po spuštění pístu, tedy v době expanze. Rozdělení vstřikování na dvě fáze dopomáhá k menšímu namáhání katalyzátoru, což vede k omezení emisí až okolo 25% (především za studena). Vstřikovací ventily obsahují 6 otvorů, které dodávají palivo do spalovacího prostoru. [27]



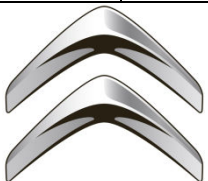




4 MOTORY VYUŽÍVAJÍCÍ PŘÍMÉ VSTŘIKOVÁNÍ BENZÍNU

Tato kapitola obsahuje seznam motorů využívající systém přímého vstřikování benzínu. V seznamu se nenacházejí všechny automobilové společnosti a motory využívající tento systém, ale pouze mnou vybrané. Učinil jsem tak z důvodu obrovského množství vyrobených motorů.

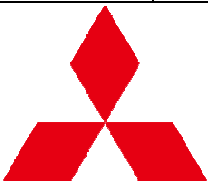



Tab. 3 Seznam vybraných motorů s přímým vstřikováním benzínu [29]

Motor	Výkon/Otáčky [kW]/ [min ⁻¹]	Točivý moment/Otáčky [Nm]/ [min ⁻¹]	Objem motoru [cm ³]	Počet válců	Přepínání
Alfa Romeo 					
1,9 JTS	118/6500	190/4500	1859	4	ne
2,0 JTS	121/6400	206/3250	1970	4	ne
2,2 JTS	136/6500	230/4500	2198	4	ne
3,2 V6 JTS	191/6200	322/3800	3195	6	ne
1,75Tbi	147/5000	320/1400	1742	4	ano
Audi 					
1,2 TFSI	63/4800	160/1500-3500	1197	4	ano
1,4 TFSI	103/5000	250/1500-3500	1390	4	ano
1,6 FSI	80/5800	155/4000	1598	4	ne
1,8 TFSI	118/5000-6200	250/1500-4200	1798	4	ano
2,0 TFSI	147/5100-6000	280/1800-5000	1984	4	ano
2,8 TFSI	154/5500-6800	280/3800-5000	2773	6	ano
3,0 TFSI	213/4850-6500	420/2500-4850	2995	6	ano
3,2 FSI	188/6500	330/3250	3123	6	ne
3,6 FSI	206/6200	360/2500-5000	3597	6	ne
4,0 TFSI	309/5000	600/1500-4500	3993	8	ano
4,2 FSI	309/7800	430/4500-6000	4163	8	ne
5,2 FSI	386/8000	530/6500	5204	10	ne
W12	368/6200	625/4750	6299	12	ne
BMW 					
118i	125/4800	250/1500-4500	1598	4	ano




135i	225/5800	400/1200-5000	2979	6	ano
220i	135/5000-6250	270/1250-4500	1997	4	ano
335i	225/5800-6000	400/1200-5000	2979	6	ano
428i	180/5000-6500	350/1250-4800	1997	4	ano
550i	330/5500-6000	650/2000-4500	4395	8	ano
640i	235/5800-6000	450/1300-4500	2979	6	ano
760i	400/5250	750/1500-5000	5972	12	ano
Citroën 					
1,2 e-THP	96/5500	230/1750	1199	3	ano
1,6 THP	115/6000	240/1400-4000	1598	4	ano
2,0 HPI	103/6000	192/4000	1997	4	ne
Ford 					
1,8 SCi	96/6000	175/4250	1798	4	ne
1,0 EcoBoost	74/5900	170/1400-4500	999	3	ano
1,6 EcoBoost	118/5800	240/1500-5500	1596	4	ano
2,0 EcoBoost	176/6150	340/1900-3500	1999	4	ano
Hyundai 					
1,6 GDI	99/6300	164/4850	1591	4	ne
2,0 GDI	131/6500	214/4700	1999	4	ne
Mazda 					
2,0 MZR DISI	111/6200	193/4000	1999	4	ne
2,3 MZR DISI Turbo	191/5500	380/3000	2261	4	ano
Mercedes-Benz 					
CLK 200 CGI	125/5500	250/3500	1796	4	ano



CLS 350 CGI	215/6400	365/3000-5100	3498	6	ne
A 180 Blue Efficiency	90/5000	200/1250-4000	1595	4	ano
A 250 Blue Efficiency	155/5500	350/1200-4000	1991	4	ano
E 350 Blue Direct	225/6500	370/3500-5250	3498	6	ano
E 500 Blue Direct	300/5000	600/1600-4750	4663	8	ano
E 63 AMG	410/5250	720/1750-5250	5461	8	ano
Mitshubishi 					
1,8 GDI	90/5500	174/3750	1834	4	ne
2,4 GDI	106/5500	211/3500	2351	4	ne
Renault 					
2,0 IDE	103/5500	200/4250	1998	4	ne
H5F 1,2 TCe 115	85/6000	190/2250	1198	4	ano
H5F 1,2 TCe 130	96/5000	205/2000	1198	4	ano
Škoda Auto 					
1,6 FSI	85/6000	155/4000	1598	4	ne
2,0 FSI	110/6000	200/3250	1984	4	ne
2,0 TFSI	147/5100-6000	280/1800-5000	1984	4	ano
1,2 TSI	77/5000	175/1550-4100	1197	4	ano
1,4 TSI	90/5000	200/1500-4000	1390	4	ano
1,8 TSI	132/5100-6200	250/1250-5000	1798	4	ano
2,0 TSI	147/5100-6000	280/1700-5000	1984	4	ano
3,6 FSI	191/6000	350/2500-5000	3597	6	ne
Toyota 					
2,0 VVT-i D4	108/5760	196/4000	1998	4	ne



2,0 D4-S	147/7000	205/6400-6600	1998	4	ne
Volkswagen 					
1,0 TSI	55/6200	95/3000-4300	999	3	ano
1,2 TSI	81/5000	175/1500-4000	1197	4	ano
1,4 TSI	103/4500-6000	250/1500-3500	1395	4	ano
1,6 FSI	85/6000	155/4000	1598	4	ne
2,0 FSI	110/6000	200/3500	1984	4	ne
2,0 TFSI	169/5500	300/2000-5200	1984	4	ano
2,0 TSI	155/5300-6200	280/1700-5200	1984	4	ano
3,0 TSI	245/5500-6500	440/3000-5250	2995	6	ano
3,2 FSI	184/6250	320/3200	3198	6	ne
3,6 FSI	220/6600	350/2400-5300	3597	6	ne
4,2 FSI	257/6800	440/3500	4163	8	ne



5 BUDOUCNOST PŘÍMÉHO VSTŘIKOVÁNÍ BENZÍNU

5.1 VYUŽITÍ PŘÍMÉHO VSTŘIKOVÁNÍ BENZÍNU U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

Současnou novou technologií v automobilovém průmyslu jsou vznětové motory využívající přímé vstřikování benzínu. [22]

Již v roce 2007 představila automobilová společnost Mercedes-Benz ve spolupráci se společností Ricardo na frankfurtském autosalonu motor s názvem DiesOtto, který na svůj pohon využívá běžný bezolovnatý benzín. Motor DiesOtto pracuje na kombinaci Dieslova (vznětový motor) motoru a motoru Ottova (zážehový motor). Při startování a vysokých otáčkách je směs zapalována pomocí svíčky, tedy na principu Ottova motoru. Dojde-li ale ke snížení otáček, tak dochází k vypnutí zapalování a motor začíná pracovat jako Diesl. „Základní výhodou takového motoru je pak výrazné snížení spotřeby a emisí.“ [19]



Obr. 24 Motor DiesOtto [20]

Na vývoji kombinovaného motoru (zážehového a vznětového) pracuje také americká automobilová společnost General Motors pod názvem HCCI (Homogenous Charge Compression Ignition-vznětové spalování homogenní směsí). „General Motors prozatím představil prototypy Saturn Aura a Opel Vectra s 2,2l motory HCCI EcoTec a výkonem 132 kW.“ [21]



Unikátním motorem svého druhu je motor GDCI (Gasoline Direct Compression Ignition- vznětové spalování s přímým vstřikem benzínu) vyrobený automobilovou společností Hyundai. Čtyřválcový motor o objemu 1,8 litru má výkon přibližně 180 koní a podle představitelů společnosti Hyundai by měl být úspornější než dnešní moderní dvoulitrový turbodiesel. [22]



Obr. 25 Motor GDCI (Gasoline Direct Compression Ignition [22])

Motor GDCI má svoji konstrukci blíže ke vznětovým motorům, ale obsahuje také řadu změn, kterými se od běžných vznětových motorů podstatně liší. Hlavní změnou vzhledem k zážehovým motorům je nevybavení motoru GDCI zážehovými svíčkami. Také kompresní poměr 14,8:1 je nezvykle vysoký na benzinový agregát. Ke zvýšení plnicího tlaku je motor vybaven kompresorem, který stlačuje vzduch a dodává ho do spalovacího prostoru při nižších otáčkách a turbodmychadlem, které začne pracovat při nárůstu otáček a potřebě získat vyšší hodnoty tlaku ve spalovacím prostoru. Motor GDCI je nadále vybaven speciálním časováním ventilů, které slouží k dokonalejšímu vznícení směsi. Výfukové ventily se otevírají dvakrát během jednoho cyklu, což zajistí dodatečný prostup tepla z výfukového systému do výměnou plynů ochlazeného válce. K ohřevu vzduchu také dochází stlačením, které zaručuje vysoký kompresní poměr. Při překročení kritické teploty dojde ke vznícení paliva. Okamžik vstřiku paliva není prozatím znám, protože je pravděpodobně stále předmětem ladění, ale dá se očekávat, že vstřik paliva nastane při kompresním zdvihu pístu těsně před vznícením, jako je tomu u vznětových motorů. Otáčky motoru jsou obdobné jako u turbodieslů a vystoupají na hranici přibližně 4500/min. Výhodami oproti dieslovým motorům mají být především cena výroby, která má být nižší díky jednodušší konstrukci motoru. Dále lepší spolehlivost a nižší váha motoru, která zlepší jízdní podmínky a spotřebu. A v neposlední řadě fakt, že motory GDCI by neměli mít problém s novými přísnějšími emisními normami, které mají současné



turbodieslové motory prodražit. Zavedení motorů GDCl do automobilů Hyundai zatím není známo, ale očekává se, že k tomu dojde během 2 až 3 let. [22]

5.2 FILTRY PEVNÝCH ČÁSTIC

Filtry pevných částic jsou zabudované ve výfukovém systému a zabraňují pevným částicím ve výfukových plynech proniknout do ovzduší. Filtry se používají pouze u dieslových motorů, které produkují značné množství nečistot. Do budoucna ale čeká zavedení filtrů i zážehové motory využívající přímé vstřikování benzínu. [25]

Nový výzkum německou společností TÜV Nord, která výzkum provedla na zakázku společnosti Transport & Environment ukazuje, že moderní motory využívající přímé vstřikování benzínu produkují mnohonásobně více škodlivých částic než dieslové motory vybavené osazeným filtrem. V porovnání s nepřímým vstřikováním je obsah škodlivých částic desetkrát až čtyřicetkrát vyšší. Proto se dá očekávat, že od roku 2014, kdy má vyjít nová emisní norma EURO VI, budou automobilové společnosti povinny vybavovat zážehové motory filtry pevných částic, které jsou velmi problematickou komponentou dnešních dieslových motorů. Filtry nemají dlouhou životnost a jejich výměna je značně nákladná. [25]



ZÁVĚR

Spalovací motory jsou od svého vzniku stále nejpoužívanějším druhem pohonu využívaným lidskou civilizací. Od jejich vzniku došlo k obrovskému množství úprav a změn, které byly uskutečněny technickým vývojem. První myšlenky směřující k zavedení vstřikovacích systémů do automobilů byly technology navrhovány již před vznikem prvních elektronicky řízených systémů, avšak neznalost této moderní techniky nedovolovala vstřikovací systémy používat optimálním způsobem. Teprve s objevem a zdokonalením výpočetní techniky se vstřikovací systémy mohli zařazovat do běžné výbavy spalovacích motorů.

Hlavními důvody zavedení přímého vstřikování benzínu do spalovacích motorů byla snaha snižovat množství dodávaného paliva. Té se docílilo spalováním chudé směsi, která je základním prvkem všech koncepcí vytvořených automobilovými společnostmi napříč automobilovým světem. Každá koncepce přímého vstřikování benzínu se u automobilových společností liší vlastními drobnými inovačními prvky, avšak základ mají všechny na stejném principu. Dalším společným prvkem v tvorbě vstřikovacích systémů je snaha automobilových společností dosáhnout co nejekologičtějšího průvozu, což je podle mého názoru cesta správným směrem.

Při zpracování mé práce mě nejvíce zaujal technologický vývoj vznětového motoru mající pracovat na spalování nikoliv nafty ale benzínu. Vznětový motor pracující na přímém vstřikování benzínu má do blízké budoucnosti velký potenciál a po jeho následném zdokonalení může dojít na fakt, že nafta již nebude součástí paliv u osobních automobilů.

Na úplný závěr bych chtěl podotknout, že podle mého názoru budou nadále hlavními prioritami pro automobilové společnosti snižování spotřeby a emisí výfukových plynů do té doby, než dojde k nedostatku světových zásob ropy nebo ropné krizi. Teprve poté se můžeme dočkat nových motorů pracujících na jiných principech.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] FERENC, Bohumil. *Spalovací motory: karburatory a vstřikování paliva*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2004, s. 191-194. ISBN 80-251-0207-6.
- [2] MOTEJL, Vladimír. *Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů*. 3. vyd. Brno: Littera, 2004, s. 356-357. ISBN 80-85763-24-9.
- [3] BAUER, Horst a Tomáš KAMPÁN. *Řízení zážehového motoru: Základy a komponenty*. 1.vyd. Praha: Robert Bosch odbytová spol. s.r.o., 2002. ISBN 80-903132-3-X.
- [4] VLK, František. Přímé vstřikování benzínu. *Soudní inženýrství*. Brno: CERM, 2004, roč.15, č. 1.
- [5] Gasoline direct injection. *Wikipedia* [online]. 2005, 24.4.2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Gasoline_direct_injection
- [6] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [7] VLK, František a RAUSCHER, Jaroslav. *Příslušenství motorových vozidel*, Studijní opory, Brno
- [8] MOTEJL, Vladimír. Vstřikovací zařízení zážehových motorů: učební text pro učební obor 23-68-H/001(24-19-2) automechanik. 3.rozšířené vyd. České Budějovice: Kopp, 2003, 273 s. ISBN 80-723-2141-2.
- [9] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 2. vyd. Brno: Avid, 2008, 313 s. ISBN 978-80-87143-08-7.
- [10] Press. *Siemens* [online]. 2006 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://billswebospace.com/SV_200604_002_e.htm
- [11] AHMAD, ISHTIAQ. Mercedes Benz 300sl. *HD Wallpaper Pic* [online]. 2009 [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://hdwallpaperpic.blogspot.cz/2013/04/mercedes-benz-300sl.html>
- [12] SIANO, Daniela. *Fuel injection*. India: Sciyo, 2010. ISBN 978-953-307-116-9.
- [13] BAUER, Horst. *Gasoline-Engine Management: Motronic Systems*. Plochingen: Bentley Publishers, 2003. ISBN 978-0-8376-1100-6.
- [14] Přímé vstřikování benzínu - Vstřikování paliva: Rozdělovač paliva. *Automobilové technologie Bosch* [online]. 2.5.2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.bosch-automotivetechonology.cz/cs/cz/component_3/PT_PC_BDI_Fuel-Injection_PT_PC_Direct-Gasoline-Injection_905.html?compId=612
- [15] BMW Biturbo Petrol Inline Six Engine. *Worldcarfans* [online]. 2006 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.worldcarfans.com/206042612366/bmw-biturbo-petrol-inline-six-engine>



- [16] FSI (Fuel Stratified Injection). *Autolexicon.net* [online]. 6.4.2011 [cit. 2014-05-04]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/fsi-fuel-stratified-injection/>
- [17] Katalyzátor. *Autolexicon.net* [online]. 12.4.2011 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/katalyzator/>
- [18] Lambda sonda. *Autolexicon.net* [online]. 14.4.2011 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/lambda-sonda/>
- [19] DiesOtto – dieselový motor na benzin. *Autolexicon.net* [online]. 4.4.2011 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/diesotto-dieselovy-motor-na-benzin/>
- [20] Mercedes Diesotto Wins Safety And Technology Award. *TopSpeed* [online]. 2007 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.topspeed.com/cars/car-news/mercedes-diesotto-wins-safety-and-technology-award-ar48644.html>
- [21] General Motors v očekávání bankrotu představují nové motory. *Hybrid.cz* [online]. 2009 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/novinky/general-motors-v-ocekavani-bankrotu-predstavuji-nove-motory>
- [22] Hyundai chystá diesel na benzin. Novinka bude levnější a úspornější. *IDNES.cz* [online]. 2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/hyundai-gdci-vznetovy-motor-na-benzin-dx4-/automoto.aspx?c=A131118_174447_automoto_vok
- [23] Emisní norma EURO. *Autolexicon.net* [online]. 5.4.2011 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [24] TSI (Twincharged Stratified Injection). *Autolexicon.net* [online]. 13.3.2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/tsi-twincharger-stratified-injection/>
- [25] Benzinový motor čoudí víc než diesel, dostane problematický filtr. *IDNES.cz* [online]. 2013 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/filtr-pevných-castic-benzinovy-motor-d8n-/automoto.aspx?c=A131201_220142_automoto_fdv
- [26] TCE (Turbo Control Efficiency). *Autolexicon.net* [online]. 5.9.2012 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/tce-turbo-control-efficiency/>
- [27] RENAULT ACADEMY. *Motor H5FT Energy TCE 115: Školení na mechanické ústrojí*. 2011
- [28] Fuel Stratified Injection (FSI) - Benzindirekteinspritzung Scichtladung - von Audi und VW. *Kfztech.de* [online]. 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/otto/fsi.htm>
- [29] HEMERKA, L. Přímý vstřík benzínu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AMG	Aufrecht Melcher Grossaspach
Ba	Barium
CAN	Controller Area Network
CGi	Charged Gasoline Injection
CO	Oxid uhelnatý
DISI	Direct Injection Spark Ignition
ECOTEC	Emissions Control Optimisation TEChnology
ECU	Engine Control Unit
EGAS	Elektronisches Gaspedal
EGR	Exhaust Gas Recirculation
FSI	Fuel Stratified Injection
GDCI	Gasoline Direct Compression Ignition
GDI	Gasoline Direct Injection
H ₂ O	Voda
HC	Uhlovodíky
HCCI	Homogenous Charge Compression Ignition
HPI	High Precision Injection
IDE	Injection Directe Essence
JTS	Jet Thrust Stoichiometric
MPI	Multi Point Injection
N	Dusík
NO _x	Oxidy dusíku
O ₂	Kyslík
PbO	Oxid olovnatý
Pd	Palladium
Pt	Platina
Rh	Rhodiun
SCi	Smart Charge injection
SPI	Singl Point Injection
TBi	Turbo Benzina Injection
THP	Turbo High Pressure
TSI	Twincharged Stratified Injection
TSI	Turbocharged Stratified Injection
TÜV	Technischer Überwachungs-Verein
VTs	Variable Tumble System
VVT-i	Variable Valve Timing-Intelligent
ZrO ₂	Oxid zirkoničitý
M	[Nm] točivý moment
n	[ot/min] otáčky
p	[MPa] tlak v megapascálech
t	[°C] teplota
U	[V] napětí
U	[mV] napětí v milivoltech
λ	[-] součinitel přebytku vzduchu